

PACS: 61.25.Mv, 61.66.-f

Я.С. Соколовский, Д.В. Варюхин

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАГОТОВОК ИЗ КАРБИДО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина

Статья поступила в редакцию 27 января 2020 года

*Рассмотрены три варианта использования вторичного сырья в виде стружки при изготовлении заготовок из карбидо-легированной стали, отличающиеся процентным содержанием стружки. Экспериментальным путем выбраны наиболее оптимальные состав и режим обработки, позволяющие уменьшить выход брака, при минимальном повышении температуры предварительного спекания.*

**Ключевые слова:** карбидо-легированная сталь, порошковая металлургия, жидкофазное спекание, стружка

### Введение

Значительный вклад в решение проблемы безотходного изготовления деталей машин вносит порошковая металлургия. Такие конструкционные детали, как шестерни, кулачки, шайбы, заглушки, храповики, крышки, фланцы, накидные гайки и др., могут быть изготовлены из порошков железа, углеродистых и легированных сталей, меди, бронзы, латуни, никеля и других сплавов. Широкое применение порошковая металлургия нашла в различных отраслях машино- и приборостроения с крупносерийным и массовым производством продукции благодаря своим ресурсосберегающим возможностям по коэффициенту использования металла и энергозатратам. Разработаны различные методы повышения плотности и прочности деталей: теплое прессование, двойное прессование и спекание, жидкофазное спекание, пропитка пористых металлических каркасов из железного порошка медью, методы легирования железа углеродом, медью, хромом и другими металлами.

В работах [1–5] показано, что присутствие жидкой фазы во время спекания при выполнении ряда условий значительно увеличивает скорость диффузии компонентов, облегчает перемещение твердых частиц относительно друг друга, вследствие чего происходит быстрое заполнение пор и капилляров веществом. Все это позволяет за короткое время достичь почти теоретической плотности спекаемого материала.

Цель данной работы – проанализировать технологические аспекты жидкофазного спекания заготовок из карбидо-легированной стали, эксперименталь-

но установить, что добавление в состав спекаемой смеси вторичного сырья того же химического состава в виде стружки позволит, с одной стороны, снизить отход дорогостоящего материала при производстве конечных изделий (в частности, роликов), а с другой – уменьшить выход бракованных заготовок.

### 1. Материалы и методика эксперимента

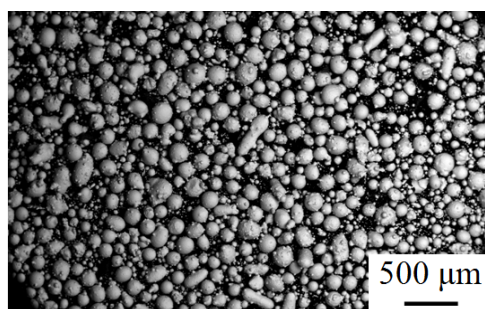
При механической обработке заготовок из карбидо-легированной стали образуется достаточно большой (до 50%) отход материала в виде стружки. Для выявления возможности использования указанного вторичного сырья были изготовлены образцы из серийного сырья с содержанием стружки 25 и 50% и образец из 100% стружки.

Для получения карбидо-легированной стали в качестве исходного серийного сырья использовали смесь порошков: 80% быстрорежущей стали марки ПР-10Р6М5 (таблица) и 20% карбида титана TiC с массовым содержанием углерода 17.8%. На рис. 1 представлены изображения структуры данных порошков, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL (JSM-6490LV).

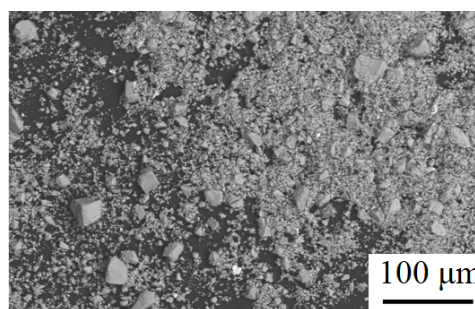
Таблица

Химический состав (в %) стали марки ПР-10Р6М5

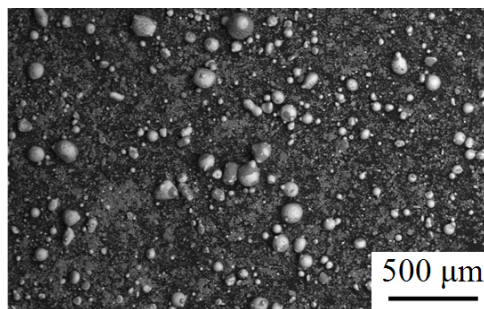
Основные компоненты							Примеси (не более)			
Fe	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni	S	O
Основа	1.2	4	6.5	5	2	< 0.5	0.55	0.4	0.03	0.03



*a*

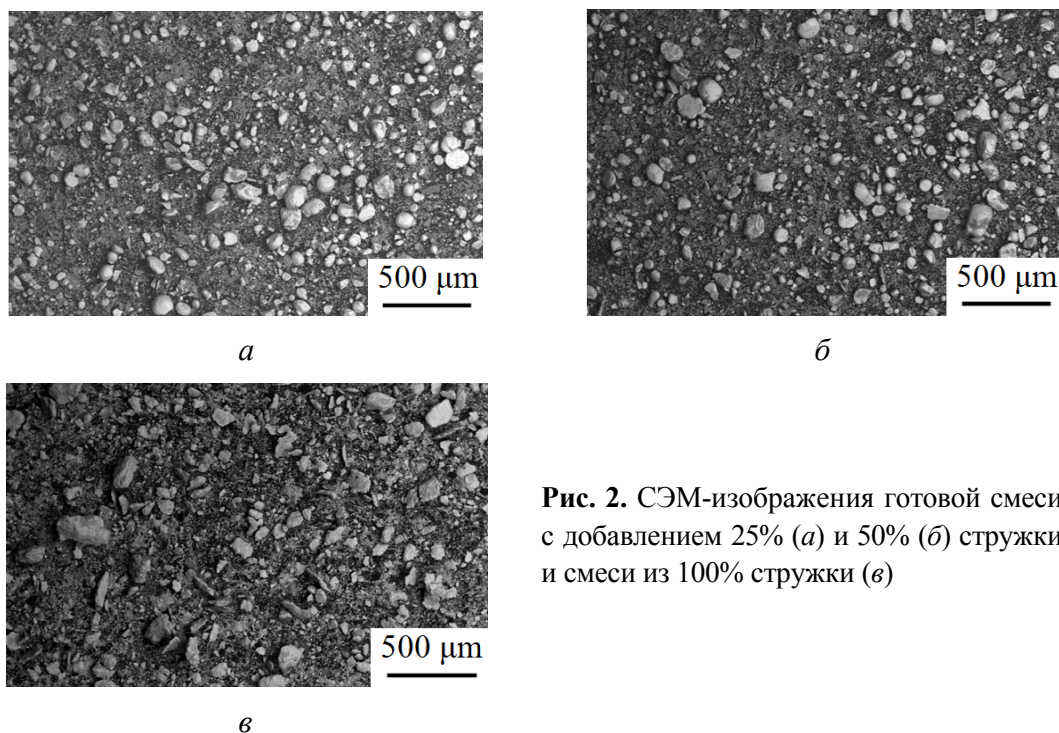


*б*



*в*

**Рис. 1.** СЭМ-изображения порошков исходного серийного сырья: *a* – быстрорежущая сталь марки ПР-10Р6М5; *б* – TiC; *в* – полученная из них смесь



**Рис. 2.** СЭМ-изображения готовой смеси с добавлением 25% (а) и 50% (б) стружки и смеси из 100% стружки (в)

Для экспериментов в качестве вторичного сырья использовали стружку, образовавшуюся после проточки заготовок на станке ЧПУ, поскольку в ней отсутствуют вредные примеси (остатки эмульсии, стружка от других материалов и пр.) и она имеет более однородный фракционный состав в сравнении со стружкой после черновой механической обработки. Химический состав стружки аналогичен составу карбидо-легированной стали, за исключением пониженного содержания углерода ввиду обезуглероживания заготовок при технологических операциях. Для компенсации данного эффекта в смесь добавляли порошок графита ГК-1 из расчета 4 г на 1 кг стружки. Рис. 2 иллюстрирует варианты полученных смесей со стружкой.

Исследования проводили с использованием вакуумной лабораторной печи СНВЭ-1.3.1/16 (рис. 3).

Экспериментальный цикл состоял из нескольких этапов. Для приготовления смеси ее исходные компоненты и стружку размалывали по отдельности при помощи шаровой вибромельницы и мельницы планетарного типа, после чего смешивали в Y-образном смесителе с добавлением порошка графита в заданном процентном соотношении. На этапе предварительного спекания проводили вакуум-термическое формование в металлических формах при стандартной



**Рис. 3.** Вакуумная печь с блоком управления

температуре 1170°C, которое протекало в твердой фазе смеси. Следующим этапом было обжигание заготовок в гидростате при давлении 300–400 МПа. Затем осуществляли основное спекание заготовок при температуре 1435°C с образованием жидкой фазы.

Посредством спекания получали заготовки длиной 68 мм и размерами наружного и внутреннего диаметров соответственно 65 и 16 мм, поскольку именно для данных габаритных размеров в серийном производстве наблюдалось наибольшее количество дефектов в виде расслоений по высоте и радиальных трещин. Путем добавления вторичного сырья предполагалось снизить выход бракованных заготовок.

## 2. Результаты и обсуждение

Жидкофазное спекание представляет собой спекание многокомпонентных систем с образованием жидкой фазы. Ее появление при нагреве связано с расплавлением компонента спекаемого материала, в частности стружки. В отличие от твердофазного при жидкофазном спекании благодаря большей подвижности системы жидкое–твердое более наглядно проявляется действие сил капиллярного стягивания, увеличивается скорость само- и гетеродиффузии атомов, что ускоряет сплавообразование и обеспечивает получение практически беспористых порошковых материалов [6]. При этом объем жидкой фазы, образующейся в результате нагрева, должен составлять некую оптимальную величину, так как если жидкой фазы образуется слишком много, то порошковая формовка может потерять свою форму. В случае низкого содержания жидкой фазы теряются преимущества жидкофазного спекания – на процесс спекания требуются большие температуры и время, изделие получается пористое и пр.

Преимуществом использования стружки в качестве добавки в стандартную смесь является то, что каждая частица уже содержит в спеченном виде оба компонента смеси (сталь ПР-10Р6М5 и TiC), что дает более равномерное распределение компонентов по объему смеси, а также улучшает формуемость и спекаемость материала. Последнему способствует колотая форма частиц стружечного вторичного сырья в отличие от шаровидной формы порошка стали в стандартной смеси.

Необходимо отметить, что стружка после размола в вибромельнице имеет заниженную по сравнению с серийным сырьем насыпную плотность: 2.6–2.7 г/см<sup>3</sup> вместо 3.1–3.3 г/см<sup>3</sup>. Вследствие этого понижена и насыпная плотность смеси со стружкой: 2.8–2.9 г/см<sup>3</sup>, а насыпная плотность утряски в форму составляет 4.6–4.7 г/см<sup>3</sup> при стандартной 5.4–5.6 г/см<sup>3</sup>.

В результате проведенных 7 экспериментальных циклов было установлено, что для смеси, содержащей в своем составе стружку, повысилась температура предварительного спекания. В случае 25%-го содержания стружки увеличение температуры составило ~ 20°C, для 50%-го – 30°C, а для смеси из 100% стружки – 45°C. Температура основного спекания отличалась меньше, и разница составила ~ 15°C.

Параметры заготовок с добавлением стружки на конечной стадии соответствовали параметрам серийно производимых заготовок: плотность относительно теоретической не ниже 95%, твердость 30–35 HRC, габаритные размеры – в соответствии с чертежом. При этом заготовки, изготовленные из 100% стружки, характеризовались заниженными плотностью (90–91%) и габаритными размерами, что, по-видимому, явилось следствием пониженной насыпной плотности смеси.

Дефектов в виде трещин и расслоений, характерных для заготовок из чистого серийного сырья, не наблюдалось ни для одного из экспериментальных образцов со стружкой.

### Выводы

В результате проведенных экспериментов установлено, что использование вторичного сырья в виде стружки того же химического состава вполне допустимо и позволяет избавиться от дефектов, сопровождающих серийное производство заготовок из карбидо-легированной стали.

Оптимальным представляется использование смеси, содержащей 25% стружки, поскольку ее насыпная плотность наименее отличается от стандартной (что исключает необходимость изготовления отдельных форм для производства заготовок), а для ее получения требуется минимальное (~ 20°C) повышение температуры предварительного спекания.

1. *В.Н. Еременко, Ю.В. Найдич, И.А. Лавриненко*, Спекание в присутствии жидкой металлической фазы, Наукова думка, Киев (1968).
2. *Я.Е. Гегузин*, Физика спекания, Наука, Москва (1984).
3. *В.В. Скороход, С.М. Солонин*, Физико-металлургические основы спекания порошков, Metallurgia, Москва (1984).
4. *Д.П. Ускокович, Г.В. Самсонов, М.М. Ристич*, Активированное спекание, Белград (1974).
5. *В.А. Ивсен*, Феноменология спекания и некоторые вопросы теории, Metallurgia, Москва (1985).
6. *Е.Н. Осокин, О.А. Артемьева*, Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций, ИПК СФУ, Красноярск (2008).

*Ya.S. Sokolovskii, D.V. Varyukhin*

### USE OF A RECYCLABLE MATERIAL IN THE COURSE OF PRODUCTION OF THE BILLETS OF DOPED CARBIDE STEEL BY POWDER METALLURGY WITH PRESENT LIQUID PHASE

Three variants of the use of recyclables in the form of facings in the course of the production of the billets of doped carbide steel that differ in the facing content. The optimum composition and the processing mode are selected experimentally in order to reduce the reject rate at the minimum increase in the temperature of the precursory sintering.

**Keywords:** doped carbide steel, powder metallurgy, liquid-phase sintering, facing

**Fig. 1.** SEM images of the powders of serial raw material: *a* – high-speed steel ПР 10P6M5, *б* – TiC, *в* – the blend

**Fig. 2.** SEM images of the prepared blend with the facing content of 25% (*a*) and 50% (*б*) and the blend of 100% facing (*в*)

**Fig. 3.** Vacuum furnace and the control block